

IM BLICKWINKEL

Schatten, Bild und Spiegelung

Wenn Licht von einer Fläche sowohl spiegelnd als auch diffus reflektiert wird, kann es zu überraschenden Situationen kommen. Spiegelbild und Schatten sehen sich beide oft zum Verwechseln ähnlich – wenn man nicht genau genug hinschaut.

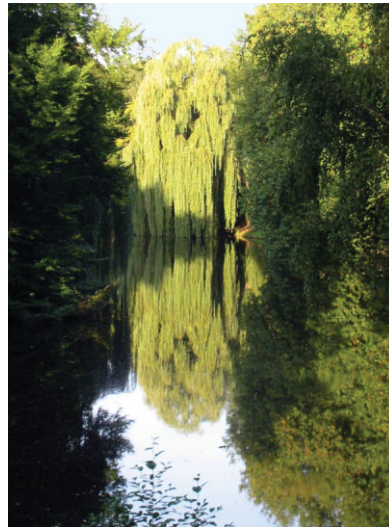


Abb. 1 a) Ein Baum mit zwei Schatten?, b) Spiegelung von Bäumen, die in der Sonne stehen.

Wer macht sich schon Gedanken darüber, ob die Bäume, die sich umrisshaft auf einem Gewässer abzeichnen Spiegelbilder oder Schatten darstellen? Diese Frage stellt sich erst dann, wenn es sowohl ein Spiegelbild als auch einen Schatten gibt (Abbildung 1). Dazu kommt es, wenn das Wasser das Licht sowohl diffus als auch spiegelnd reflektiert. Das ist häufig bei trübem Wasser der Fall. Doch wenn der gespiegelte Gegenstand nicht direkt von der Sonne beschienen wird, fällt das Spiegelbild ziemlich dunkel aus, und es ist schwierig, das eine vom anderen zu unterscheiden.

Der Unterschied wird klar, wenn man Folgendes bedenkt. Das Spiegelbild erscheint in dem Maße in die „Spiegelwelt“ des Wassers eingetaucht, wie sich das Original über dem Wasserspiegel erhebt. Der Schatten scheint dem gegenüber auf der trüben Wasseroberfläche zu liegen. Hinzu kommt, dass sich das Spiegelbild relativ zum Schatten mit dem Be-

obachter mit zu bewegen scheint, während der Schatten an derselben Stelle bleibt. Da ein Baum von allen Seiten nahezu gleich aussieht, bemerkt man nicht, dass das scheinbar mitlaufende Spiegelbild stets neue Spiegelungen der sich ändernden Ansichten des Baumes darstellt.



Eine ganz ähnliche Situation zeigt Abbildung 2, die zwei Abbilder eines hellen Fensters auf dem glatten Fußboden zeigt. Auch hier fallen einige typische Unterschiede auf. Eines der Abbilder ist wie ein Schatten stationär. Es handelt sich um eine Projektion des durch das Fenster dringenden Sonnenlichts, das auf dem Fußboden diffus in alle Richtungen reflektiert wird. Das andere Abbild des Fensters ist leicht als Spiegelung zu identifizieren: Es bewegt sich mit dem Beobachter mit und scheint außerdem aus dem Raum unterhalb des Bodens heraus zu scheinen.

Die Ursache für diese beiden Abbilder ist darin zu sehen, dass ein nicht perfekter Spiegel das Licht teilweise diffus und teilweise spiegelnd reflektiert. Der Beobachter sieht in der in Abbildung 2a dargestellten Situation das diffus reflektierte Sonnenlicht; das spiegelnd reflektierte Sonnenlicht erreicht sein Auge nicht.

Die deutlich wahrnehmbare Spiegelung muss daher von einem anderen (selbst leuchtenden) Gegenstand als der Sonne kommen. Sie rührt vom blauen Himmel her, was im Übrigen durch die blassblaue Färbung des Spiegelbildes zum Ausdruck kommt. Sonne und Himmel treten hier als unterschiedlich positionierte Lichtquellen in Erscheinung.

Doch warum scheint auch hier das Spiegelbild mit dem Beobachter



Abb. 2 Zwei „Bilder“ eines Fensters.

mitzulaufen? Wie schon beim Spiegelbild des Baumes festgestellt, sieht man auch hier nicht wirklich dauernd dasselbe Spiegelbild, sondern Spiegelbilder verschiedener Ansichten des Himmels. Das fällt wegen der Grenzenlosigkeit und Uniformität des Himmels nur nicht weiter auf.

Demgegenüber ist die Sonne nur aus einer Richtung zu sehen. Und das ist der Grund dafür, dass man das Spiegelbild der Sonne auch nur aus einer Richtung sehen kann. Nimmt man nämlich die Position (Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel) ein, in der das Spiegelbild schließlich teilweise mit dem Projektionsbild zur Deckung kommt, dann fällt einem zusätzlich zum diffus reflektierten das gespiegelte Sonnenlicht blendend ins Auge. Die Sonne nimmt dann einen Teil des reflektierten Himmelsausschnitts ein.

Bleibt die Frage, ob man neben dem spiegelnd reflektierten auch

etwas von dem diffus reflektierten Himmelslicht sehen kann. Die Antwort lautet ja, denn sonst würde der übrige Fußboden weitgehend im Dunkeln liegen.

Vor diesem Hintergrund lässt sich erklären, warum das Spiegelbild des Baumes so schattenhaft kontrastarm ausfällt. Seine im Wasser gespiegelten Ansichten werden nur durch das verhältnismäßig schwache Himmels- und Umgebungslicht beleuchtet. Wie der durch das Sonnenlicht hervorgerufene Schatten zeigt, scheint die Sonne aus einer anderen Richtung. Die bekannten beeindruckend deutlichen Spiegelungen auf einer glatten Wasseroberfläche sind immer dann zu beobachten, wenn der gespiegelte Gegenstand direkt im Sonnenlicht steht (Abbildung 1b).

*H. Joachim Schlichting,
Universität Münster*

kopplungsmechanismus sorgte dafür, dass die Spitze beim horizontalen Abrastern so an die untersuchte Oberfläche angenähert oder von ihr weg geführt wurde, dass der Tunnelstrom konstant blieb. Auf diese Weise ließ die resultierende Spur der Spitze die Beschaffenheit der Probenoberfläche erkennen.

Dass dabei Oberflächenstrukturen mit atomarer Auflösung sichtbar gemacht werden konnten, überraschte die beiden Tüftler zunächst selbst. Aber noch nicht die Realisierung dieses Prinzips, sondern erst die Anwendung auf eine Silizium-7x7-Rekonstruktion, wie sie sich beim Erwärmen von Silizium im Vakuum bildet, führte zum Durchbruch des Tunnelmikroskops. Damit konnten Binnig und Rohrer die damals intensiv diskutierte Anordnung der Oberflächenatome visualisieren und diese Frage klären (Abbildung 1).

Ab Mitte der 1980er-Jahre fand das Instrument Verbreitung in Universitäts- und Industrielaboren und die Nobelpreisverleihung an Binnig und Rohrer 1986 war Ausdruck und Motor einer breiten Wahrnehmung und Anerkennung (siehe auch den Beitrag über ein Rastertunnelmikroskop zum Selberbauen auf S. 246 in diesem Heft). In ihrer Nobelpreisrede sprachen sie davon, dass Gerät befinde sich in der „Adoleszenz.“ Damit deuteten sie an, dass es einen gewissen Reifungsprozess bereits hinter sich habe, aber weitere Ent-

PHYSIK GESTERN UND HEUTE

Das Rastertunnelmikroskop – von der Störstellenanalyse zum Nanowerkzeug

Mit dem Rastertunnelmikroskop steht der Forschung ein Instrument zur atomgenauen Oberflächenuntersuchung zur Verfügung, das seit seiner Entwicklung 1982 bereits eine wechselhafte Geschichte hinter sich hat.

Ende der 1970er-Jahre sah IBM die Zukunft des Computers basierend auf Josephson-Junctions, also Bauteilen, in denen zwei supraleitende Komponenten durch einen dünnen Isolator getrennt sind. Bei der Herstellung dieser Isolatoren aus Oxidfilmen bildeten sich Störstellen, die Heinrich Rohrer im IBM-Forschungslabor Zürich zusammen mit einem neu angestellten Postdoktoranden, Gerd Binnig, untersuchte. Binnig maß dazu den Strom, der zwischen einer feinen Spitze und der untersuchten Oberfläche floss und dabei die Vakuumlücke zwischen diesen beiden Komponenten durchtunnelte. Wurden die Oxidfilme mit der Spitze abgerastert, konnten die punktförmigen

Störstellen mit ihren besonderen elektrischen Eigenschaften aufgespürt werden. Diese Untersuchungen trugen jedoch nicht zum Erfolg einer auf Josephson-Junctions basierten Computertechnologie bei, so dass sich IBM von diesem ambitionierten Vorhaben verabschiedete.

Rohrer und Binnig weiteten ihr Verfahren, Oberflächen mit feinen Spitzen abzurastern, indes auf andere leitende Proben aus. Dabei konnten sie deutlich über die Untersuchung einzelner Störstellen hinausgehen und beobachteten, dass sich der Tunnelstrom beim Abrastern in Abhängigkeit von den elektrischen Eigenschaften und der Topographie der Oberfläche änderte. Ein Rück-

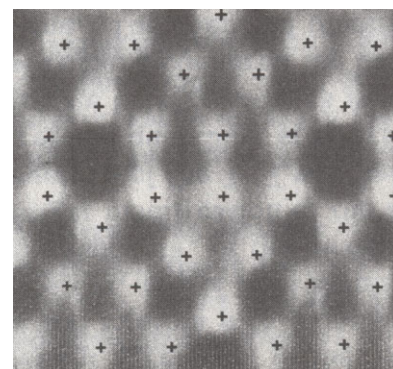


Abb. 1 Die tunnelmikroskopische Darstellung des 7x7-Siliziums durch Binnig und Rohrer erweckte zu Beginn der 1980er-Jahre große Aufmerksamkeit (Foto: IBM-Forschungslabor Zürich)